

# Neobična stanja materije i materijali budućnosti

Predavanje povodom Nobelove nagrade  
za fiziku 2016. godine

**Predrag Lazić**

*Grupa za fiziku kondenzirane tvari i statističku fiziku*

**Zavod za teorijsku fiziku, Institut Ruđer Bošković, Zagreb**



The Nobel Prize in Physics 2016

David J. Thouless, F. Duncan M. Haldane, J. Michael Kosterlitz

*Share this:*

# The Nobel Prize in Physics 2016



© Trinity Hall, Cambridge University. Photo: Kiloran Howard

**David J. Thouless**

Prize share: 1/2



Photo: Princeton University, Comms. Office, D. Applewhite

**F. Duncan M. Haldane**

Prize share: 1/4



Ill: N. Elmehed. © Nobel Media 2016

**J. Michael Kosterlitz**

Prize share: 1/4

The Nobel Prize in Physics 2016 was divided, one half awarded to David J. Thouless, the other half jointly to F. Duncan M. Haldane and J. Michael Kosterlitz *"for theoretical discoveries of topological phase transitions and topological phases of matter"*.



The Nobel Prize in Physics 2016

David J. Thouless, F. Duncan M. Haldane, J. Michael Kosterlitz

Share this:

## The Nobel Prize in Physics 2016



© Trinity Hall, Cambridge University. Photo: Kiloran Howard

**David J. Thouless**

Prize share: 1/2



Photo: Princeton University, Comms. Office, D. Applewhite

**F. Duncan M. Haldane**

Prize share: 1/4



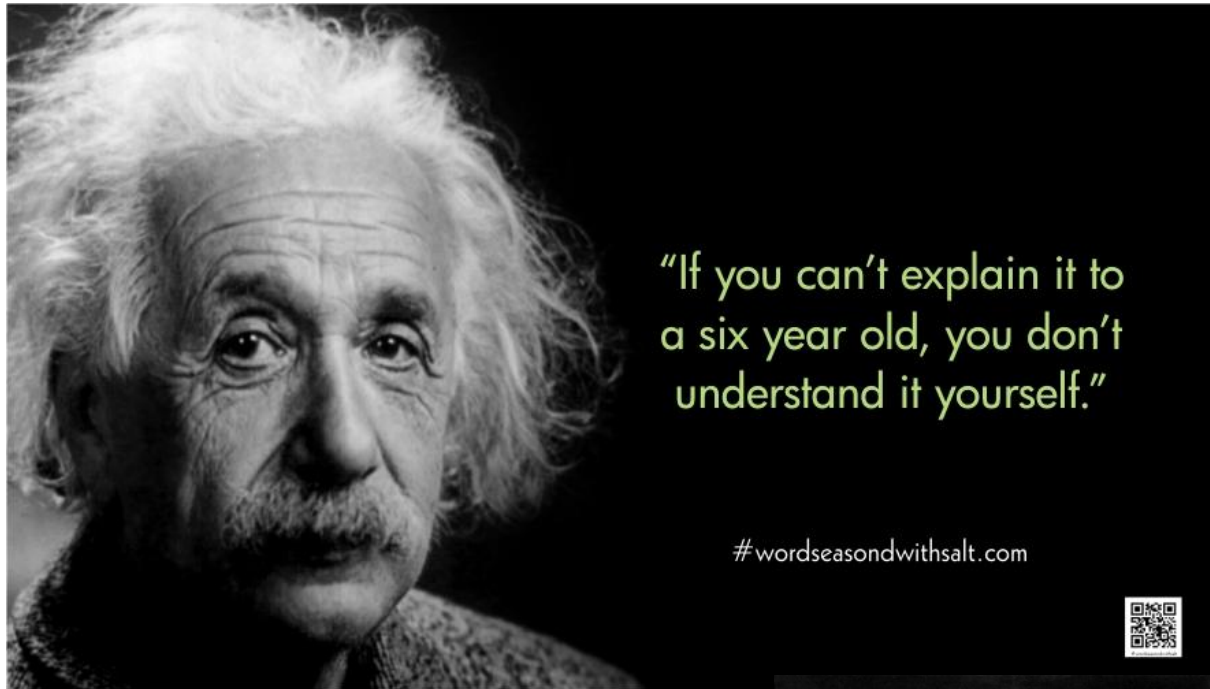
Ill: N. Elmehed. © Nobel Media 2016

**J. Michael Kosterlitz**

Prize share: 1/4

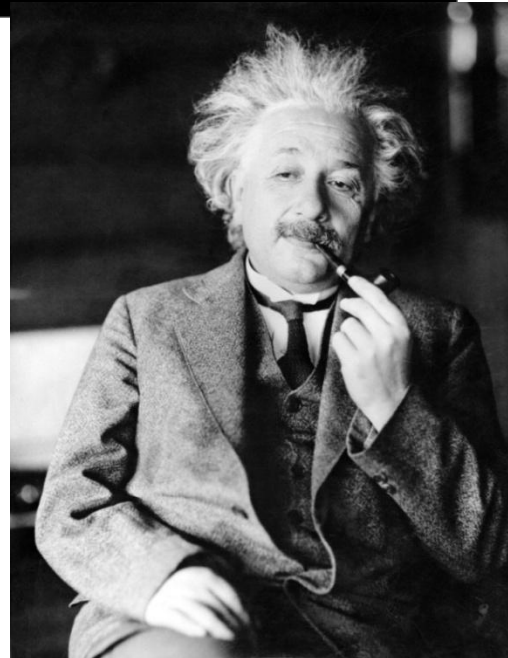
The Nobel Prize in Physics 2016 was divided, one half awarded to David J. Thouless, the other half jointly to F. Duncan M. Haldane and J. Michael Kosterlitz *"for theoretical discoveries of topological phase transitions and topological phases of matter"*.

Nagrada za: teorijska otkrića topoloških faznih prijelaza i topološke faze materije.



"If you can't explain it to  
a six year old, you don't  
understand it yourself."

#wordseasondwithsalt.com



*"If you can't explain it simply,  
you don't understand it well enough."*

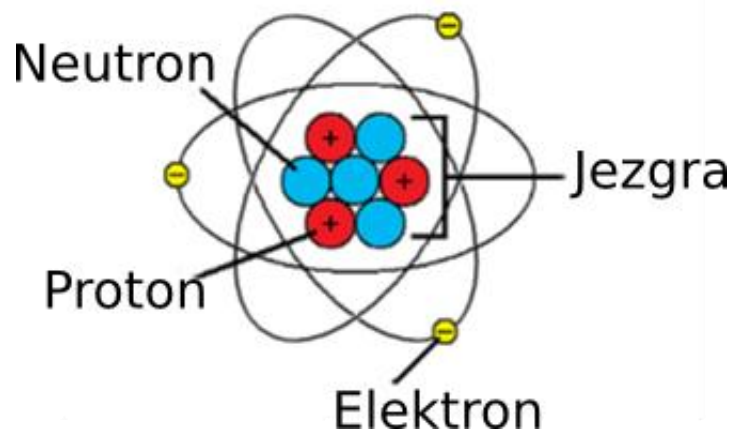
*Albert Einstein*

# OK – objašnjenje otkrića

Potrebni sastojci:

# OK – objašnjenje otkrića

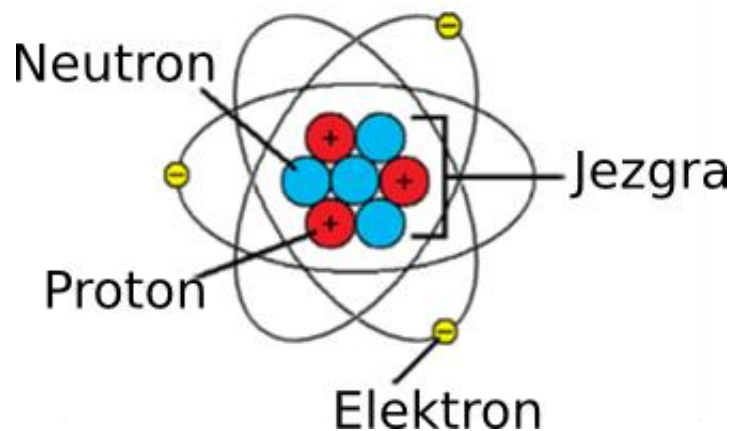
Potrebni sastojci:



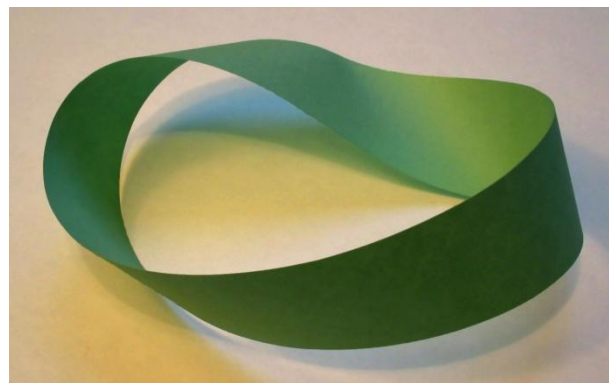
KVANTNA FIZIKA

# OK – objašnjenje otkrića

Potrebni sastojci:



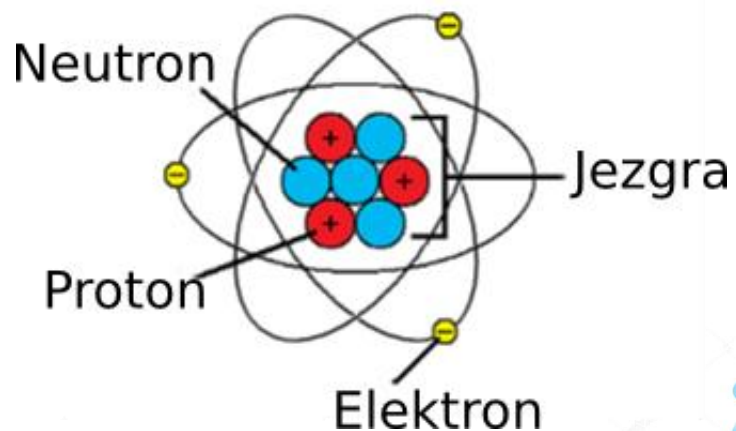
KVANTNA FIZIKA



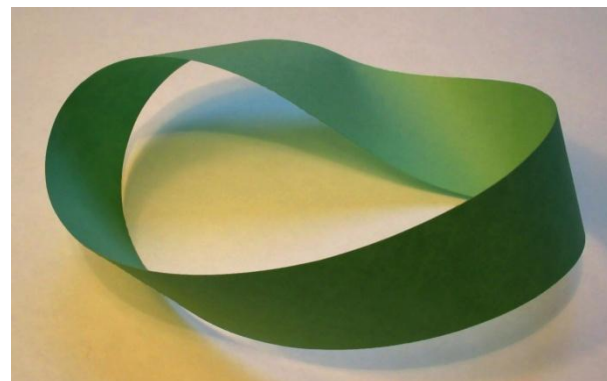
TOPOLOGIJA

# OK – objašnjenje otkrića

Potrebni sastojci:



KVANTNA FIZIKA



TOPOLOGIJA

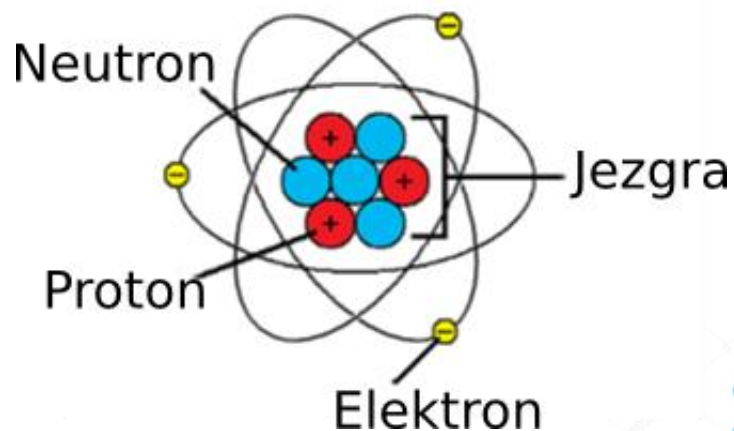


FAZNI PRIJELAZI

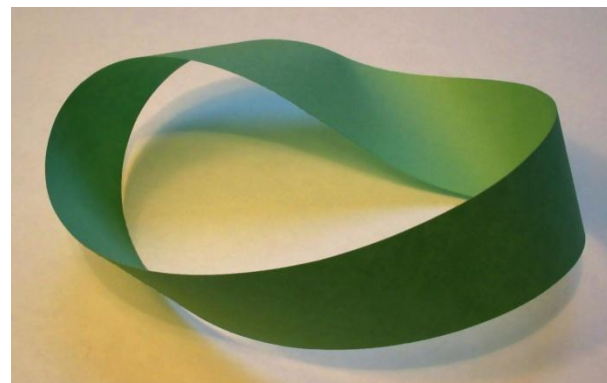


# OK – objašnjenje otkrića

Potrebni sastojci:



KVANTNA FIZIKA



TOPOLOGIJA



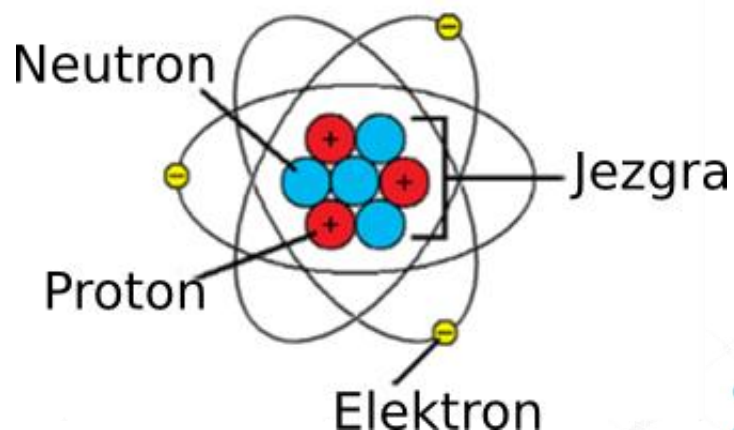
FAZNI PRIJELAZI



NISKE TEMPERATURE

# OK – objašnjenje otkrića

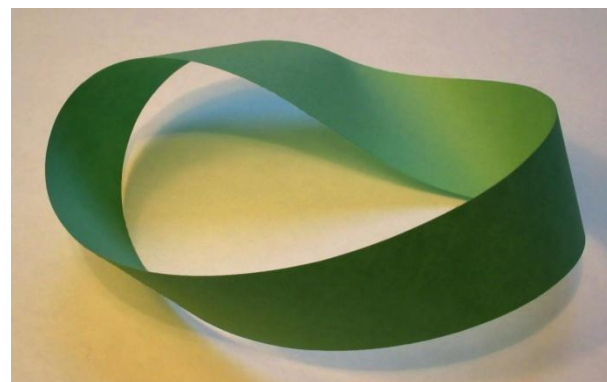
Potrebni sastojci:



KVANTNA FIZIKA



NISKE TEMPERATURE



TOPOLOGIJA



FAZNI PRIJELAZI

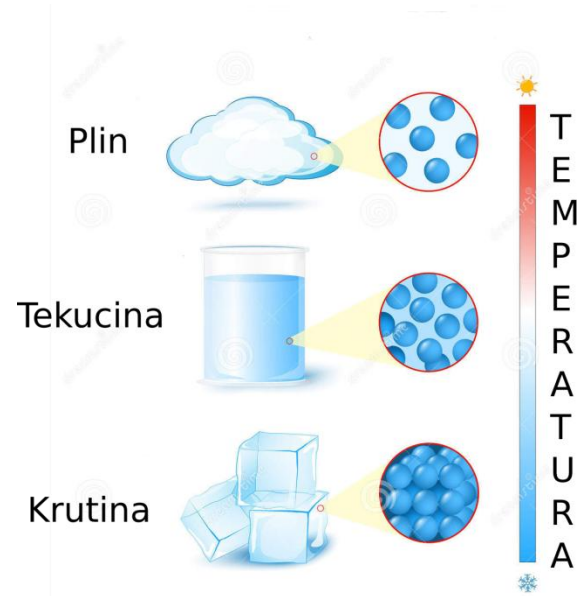


SVIJET U MANJE OD 3 DIMENZIJE

**KRENIMO OD NAJPOZNATIJE**

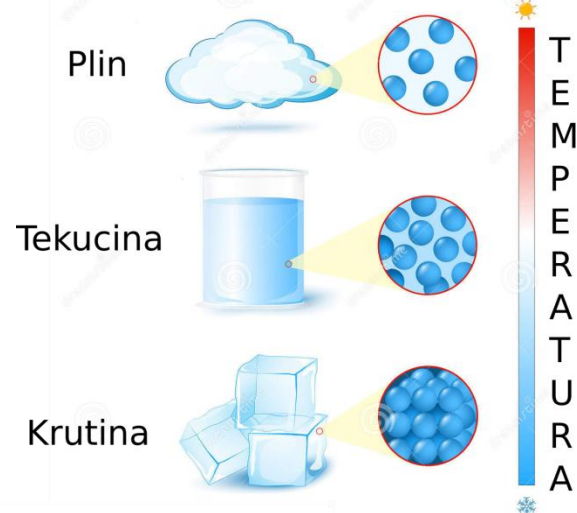
# KRENIMO OD NAJPOZNATIJE

## Stanja materije

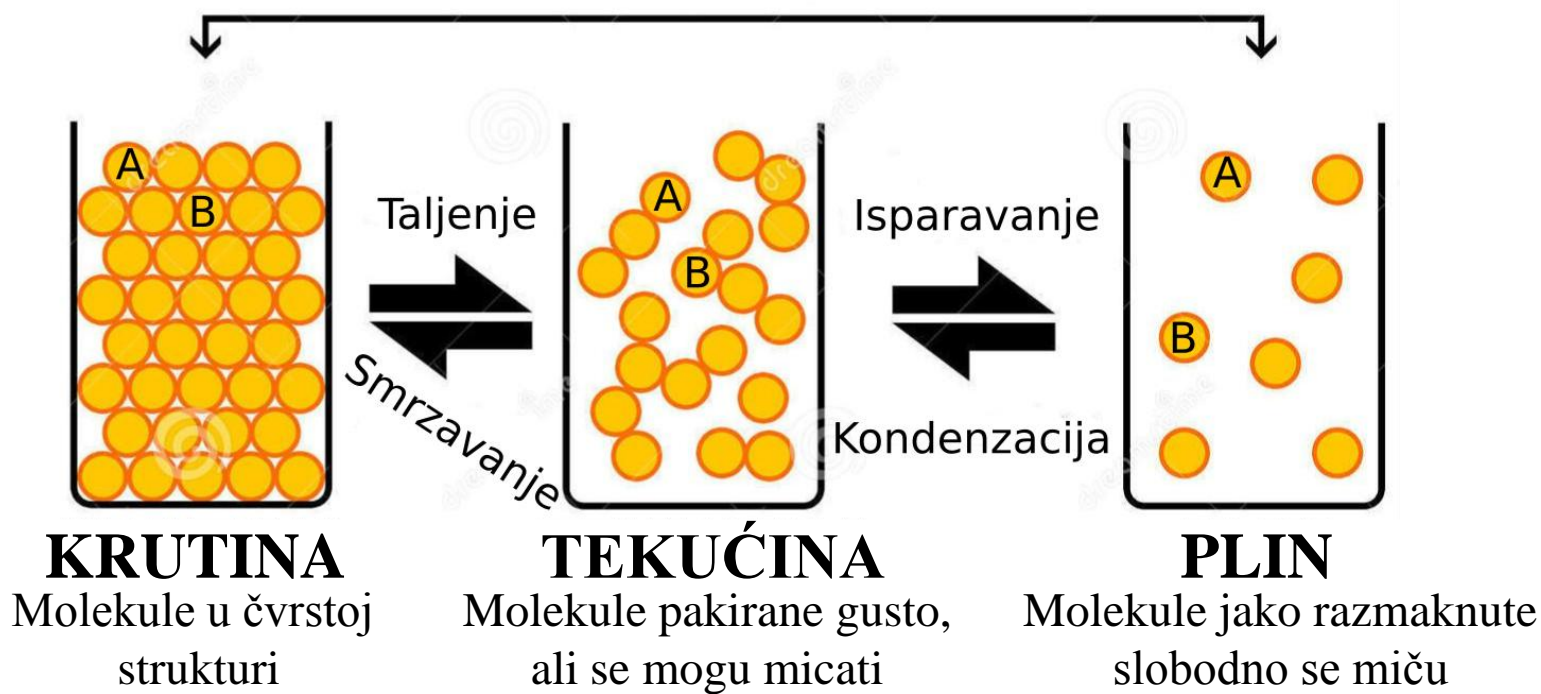


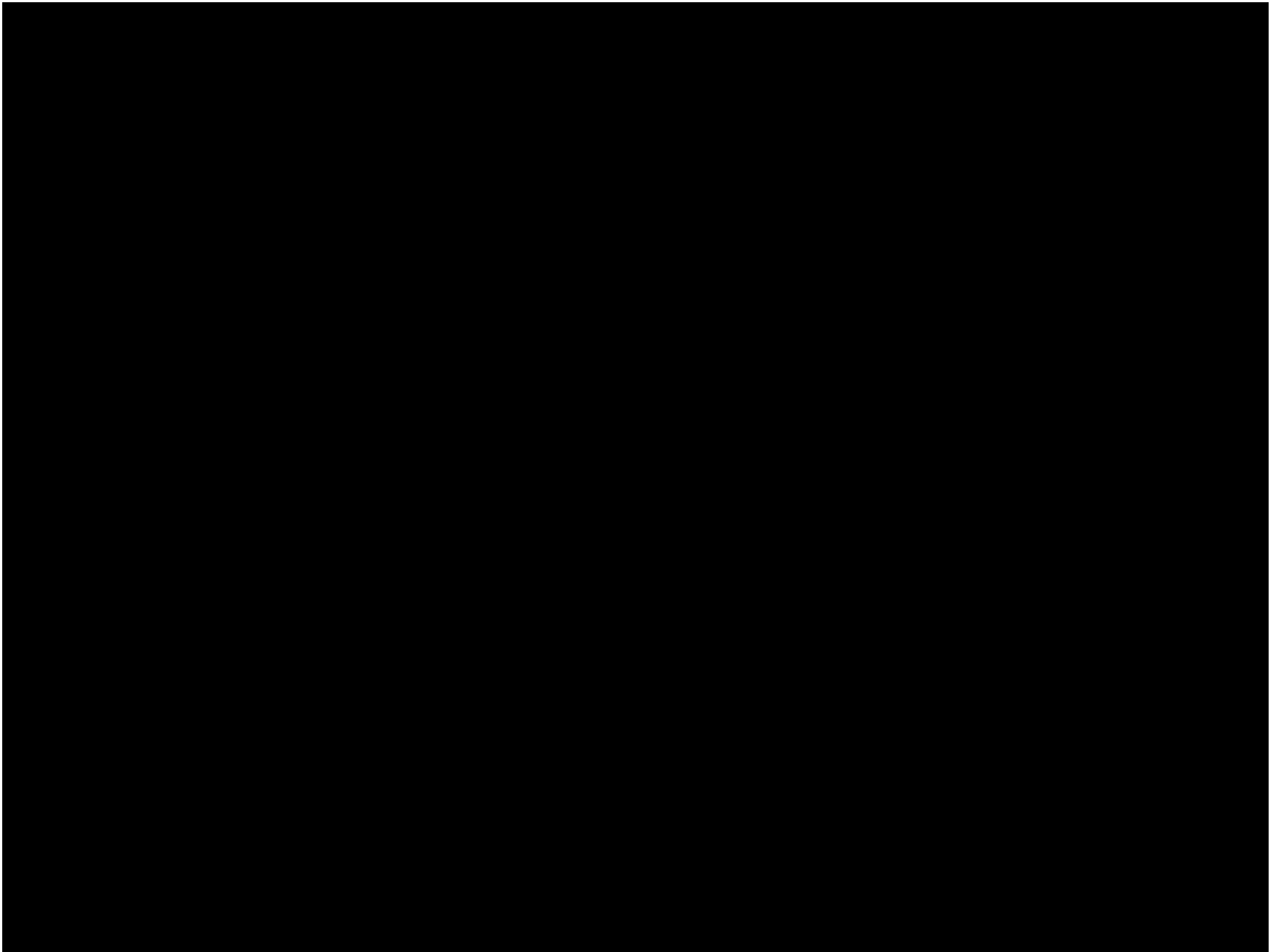
# KRENIMO OD NAJPOZNATIJEG

## Stanja materije



Sublimacija





**ZAŠTO MANJE OD 3 DIMENZIJE i ZAŠTO NISKE TEMPERATURE?**

# **ZAŠTO MANJE OD 3 DIMENZIJE i ZAŠTO NISKE TEMPERATURE?**

Stvari u 2D postaju čudne, u 1D još čudnije



# **ZAŠTO MANJE OD 3 DIMENZIJE i ZAŠTO NISKE TEMPERATURE?**

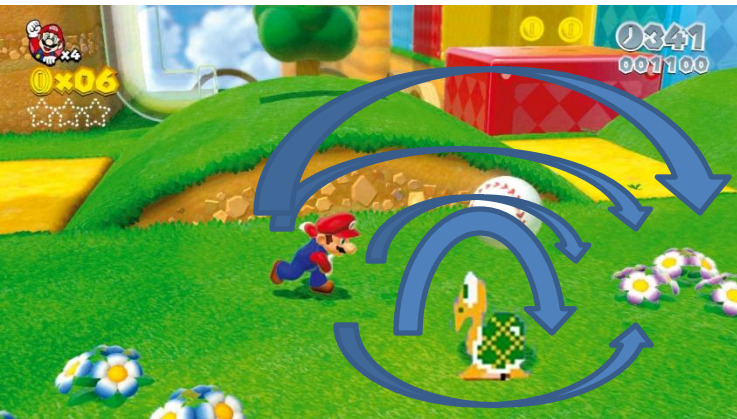
Stvari u 2D postaju čudne, u 1D još čudnije

Razlog – smanjenje faznog prostora

# ZAŠTO MANJE OD 3 DIMENZIJE i ZAŠTO NISKE TEMPERATURE?

Stvari u 2D postaju čudne, u 1D još čudnije

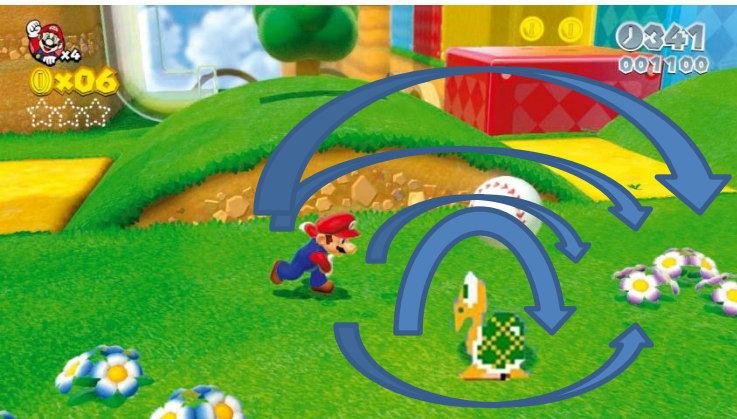
Razlog – smanjenje faznog prostora



# ZAŠTO MANJE OD 3 DIMENZIJE I ZAŠTO NISKE TEMPERATURE?

Stvari u 2D postaju čudne, u 1D još čudnije

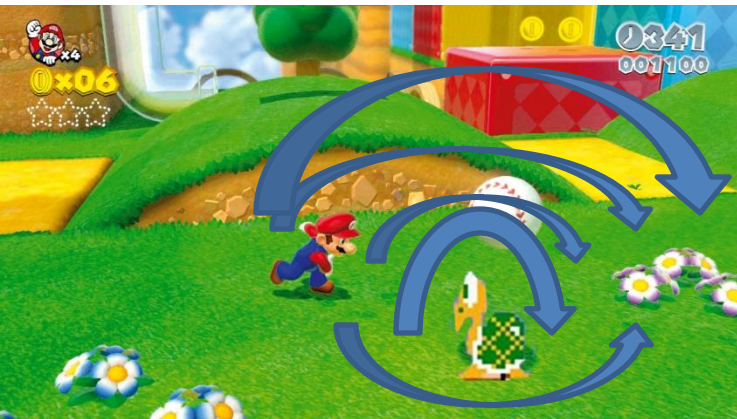
Razlog – smanjenje faznog prostora



# ZAŠTO MANJE OD 3 DIMENZIJE I ZAŠTO NISKE TEMPERATURE?

Stvari u 2D postaju čudne, u 1D još čudnije

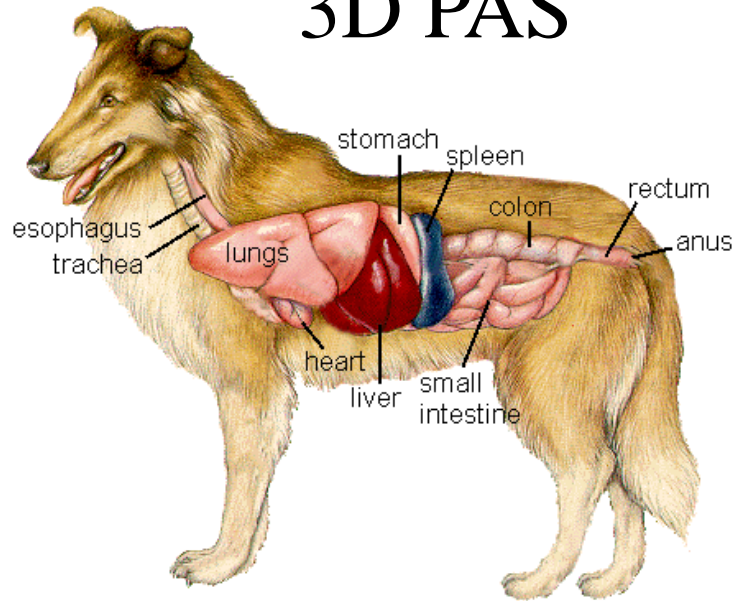
Razlog – smanjenje faznog prostora



**TAKOĐER U 2D I GEOMETRIJSKA SVOJSTVA SU BITNO DRUKČIJA  
(TOPOLOGIJA)**

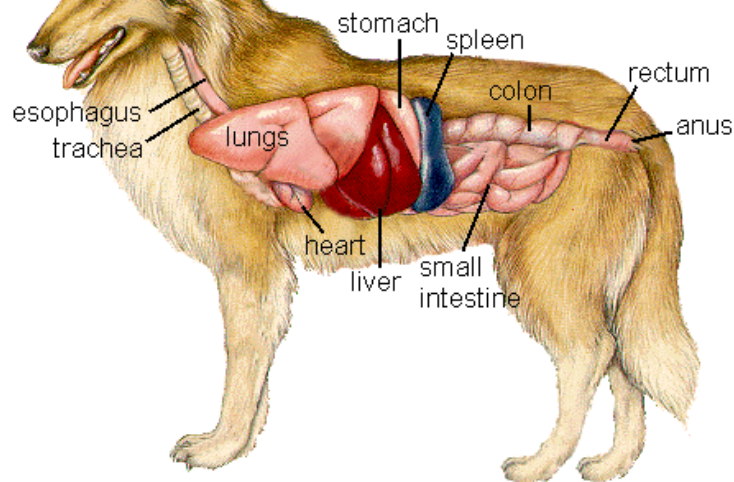
**TAKOĐER U 2D I GEOMETRIJSKA SVOJSTVA SU BITNO DRUKČIJA  
(TOPOLOGIJA)**

## 3D PAS

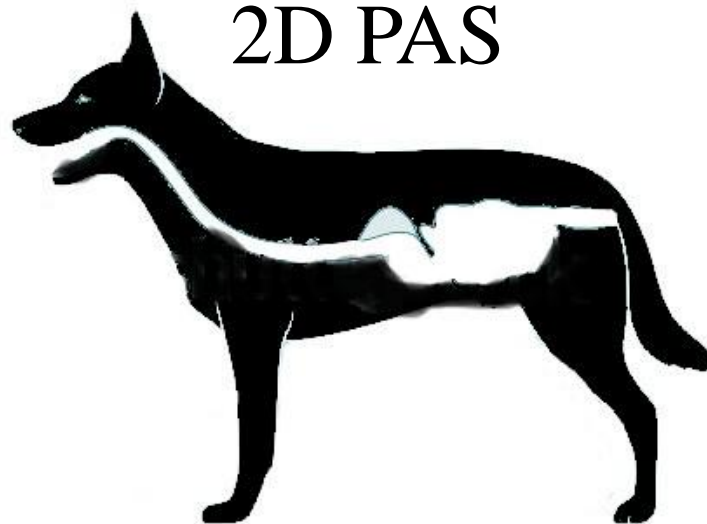


# TAKOĐER U 2D I GEOMETRIJSKA SVOJSTVA SU BITNO DRUKČIJA (TOPOLOGIJA)

## 3D PAS

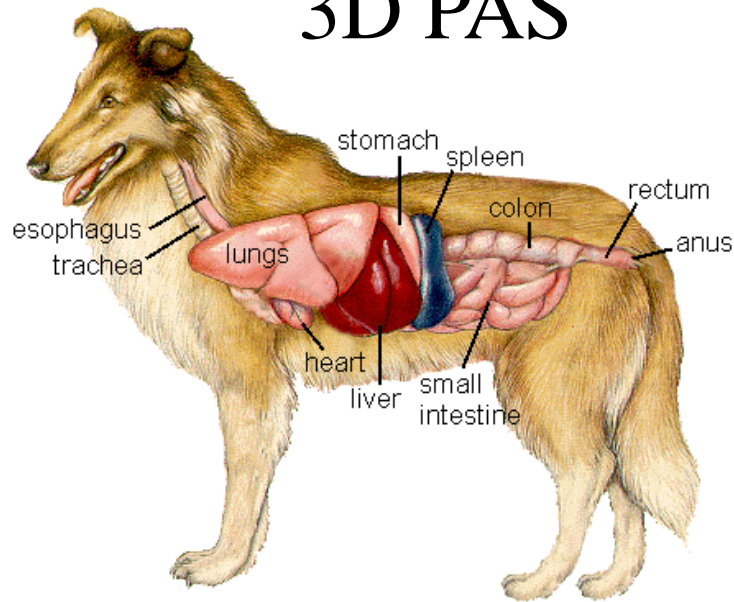


## 2D PAS

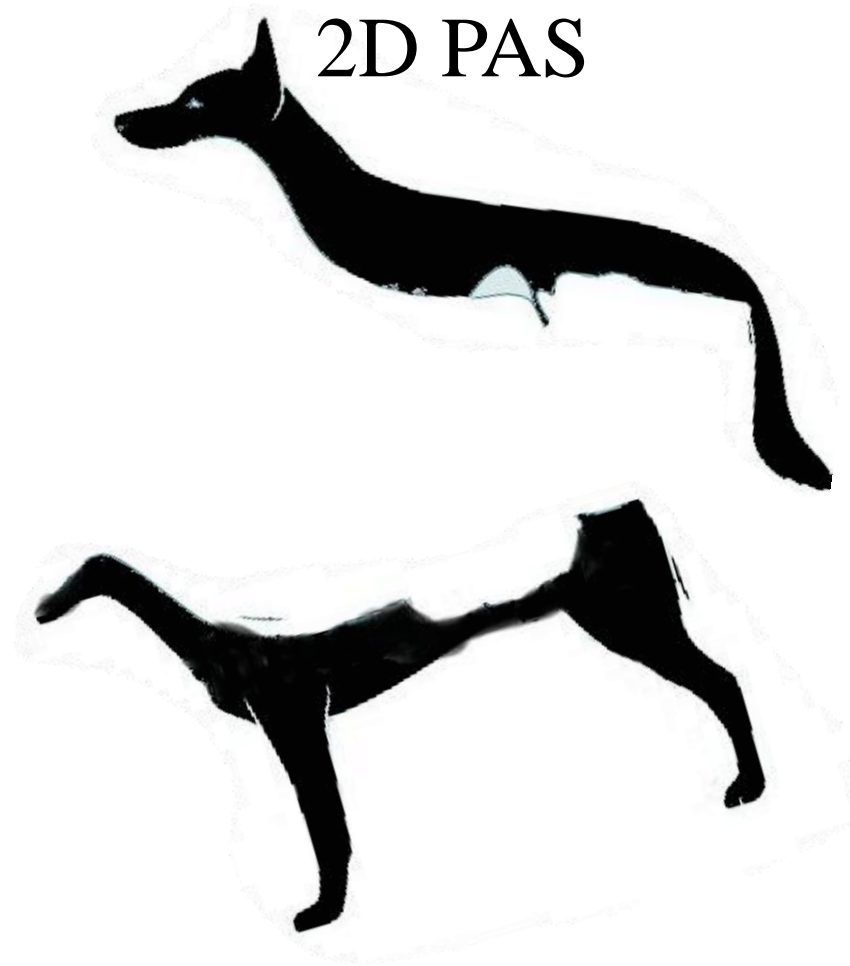


# TAKOĐER U 2D I GEOMETRIJSKA SVOJSTVA SU BITNO DRUKČIJA (TOPOLOGIJA)

## 3D PAS



## 2D PAS



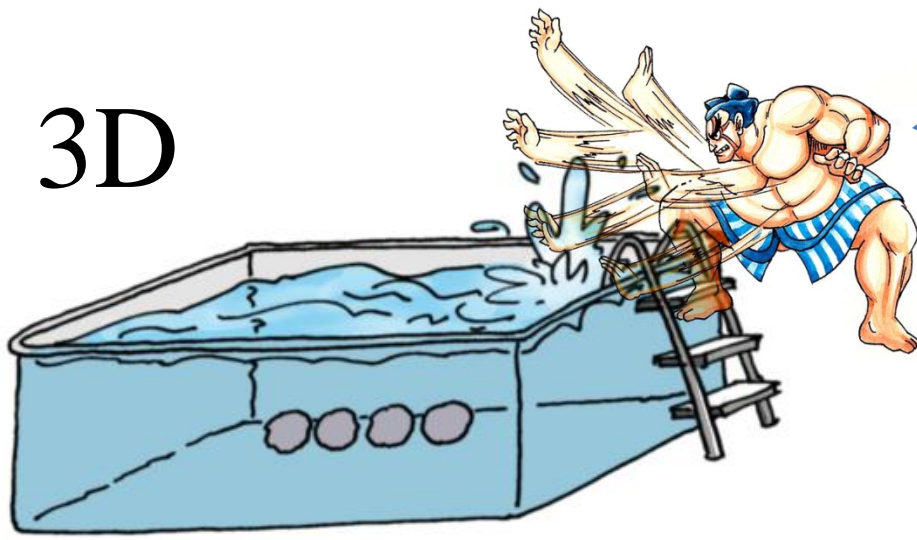


KAKVE OVO VEZE IMA S NOBELOVOM NAGRADOM?

# KAKVE OVO VEZE IMA S NOBELOVOM NAGRADOM?

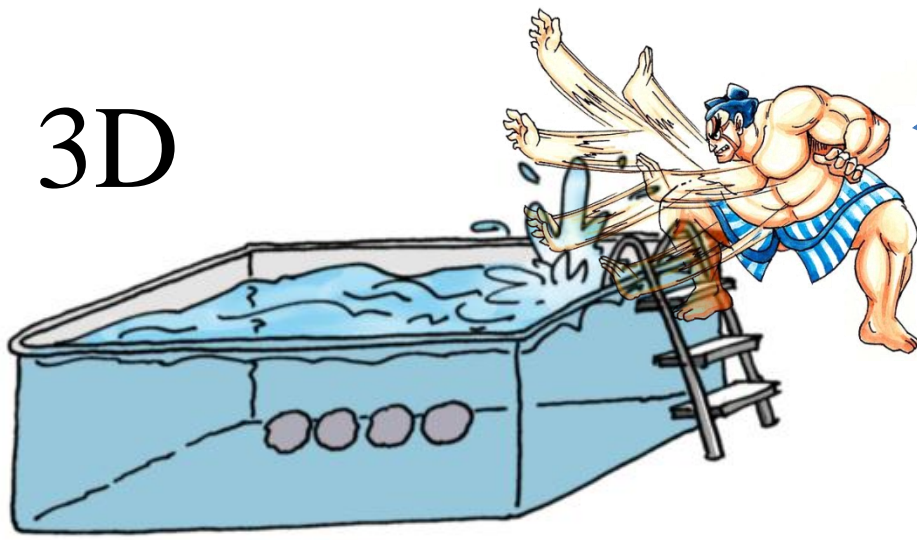
Jako dugo se vjerovalo da u 2D (pogotovo 1D) ne može postojati fazni prijelaz  
Iz jednostavnog razloga što ne može postojati uređena faza – osim na temperaturi  
apsolutne nule!

3D



← Temperatura

3D

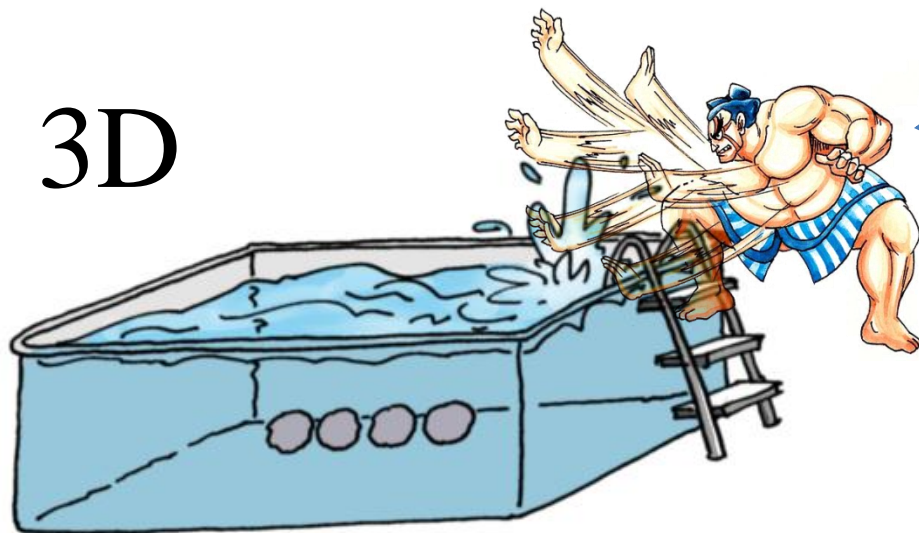


← Temperatura

2D



3D



Temperatura

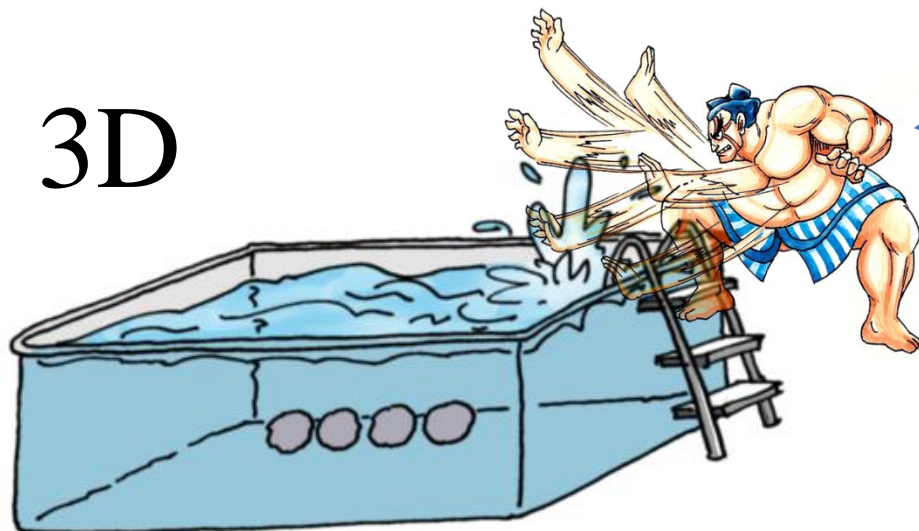
2D



1D



3D



Temperatura

2D



1D



Fazni prijelaz u 2D pronašli su

**KOSTERLITZ** (neznanje) i **THOULESS** (znatiželja) (ranih 1970 tih)



# Pronašli su novi tip uređenja u 2D! Vrtlozi (Vortex)

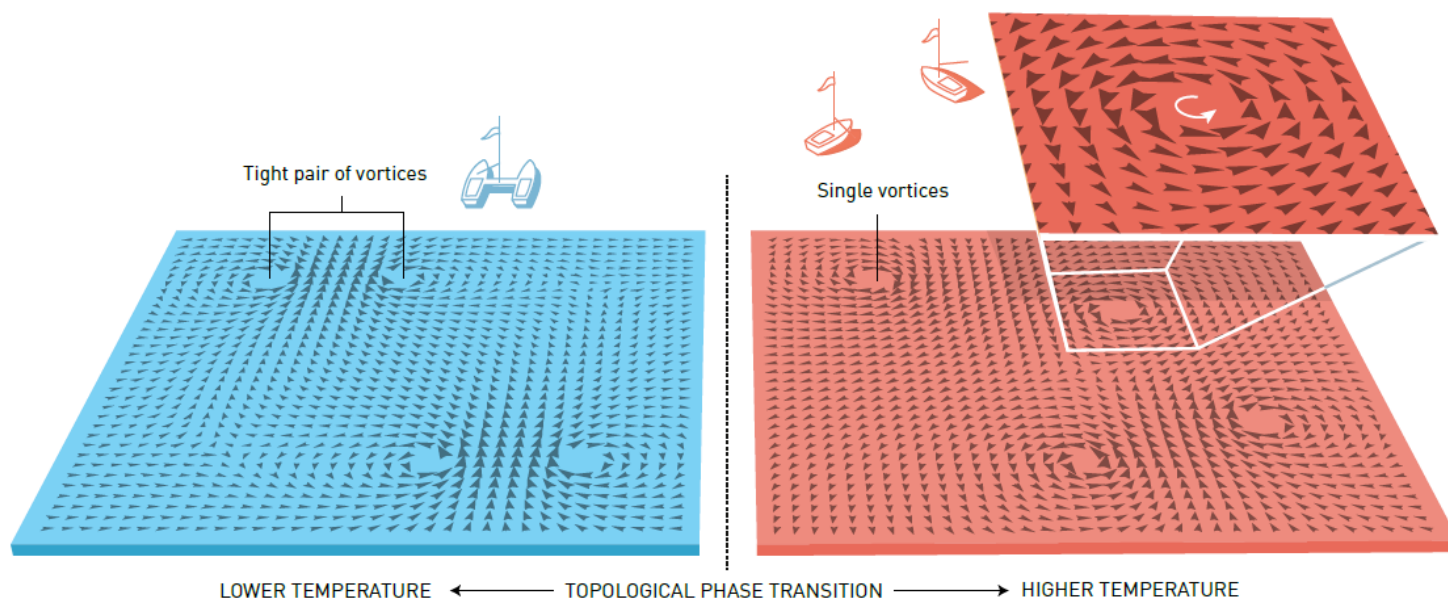


Illustration: ©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

Fazni prijelaz u 2D pronašli su **KOSTERLITZ** (neznanje) i **THOULESS** (znatiželja) (ranih 1970 tih)

# Pronašli su novi tip uređenja u 2D! **Vrtlozi (Vortex)** Vadim Berezinskii

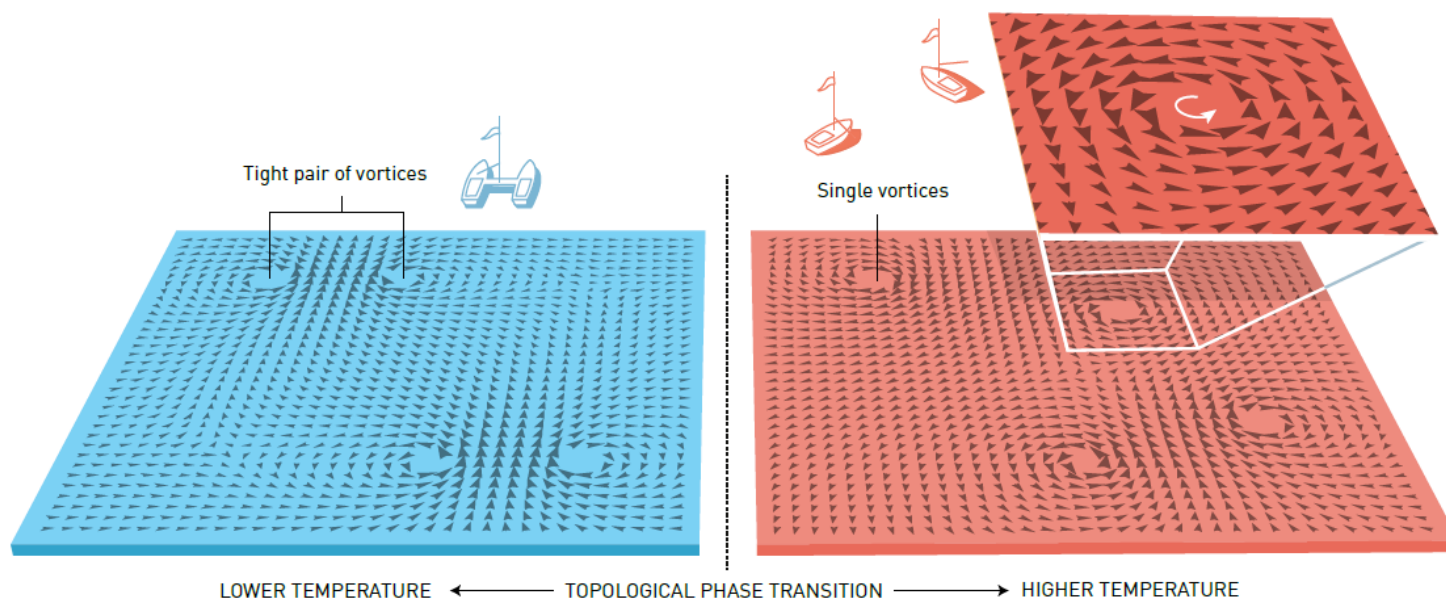


Illustration: ©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

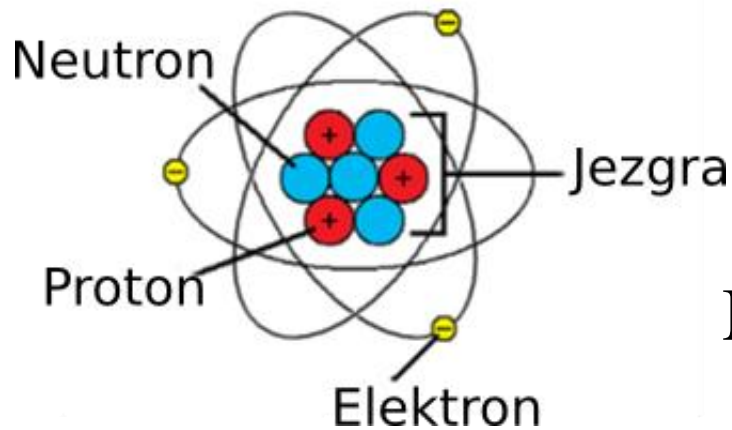
Fazni prijelaz u 2D pronašli su  
**KOSTERLITZ** (neznanje) i **THOULESS** (znatiželja) (ranih 1970 tih)



**ZAŠTO NISKE TEMPERATURE?**

## ZAŠTO NISKE TEMPERATURE?

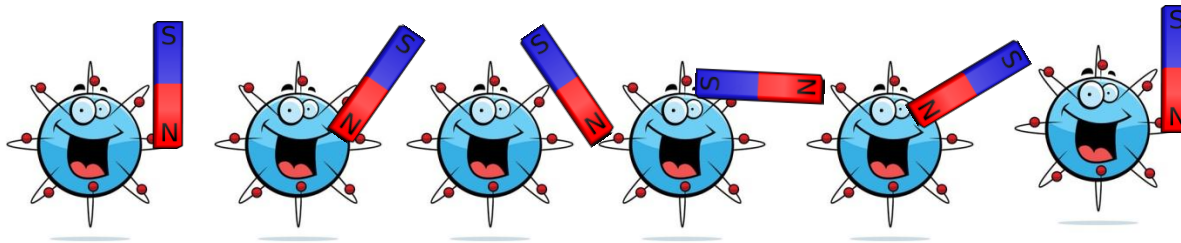
ZATO JER NAS ZANIMAJU I UREĐENJA ELEKTRONA, A NE SAMO MOLEKULA.



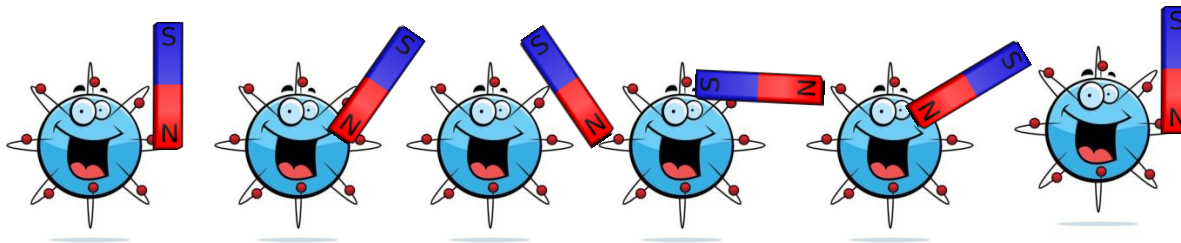
$$M_{\text{proton}}/M_{\text{elektron}} = 1836$$

Haldane je proučavao 1D lanac magnetičnih atoma (1982.)

Haldane je proučavao 1D lanac magnetičnih atoma (1982.)



Haldane je proučavao 1D lanac magnetičnih atoma (1982.)



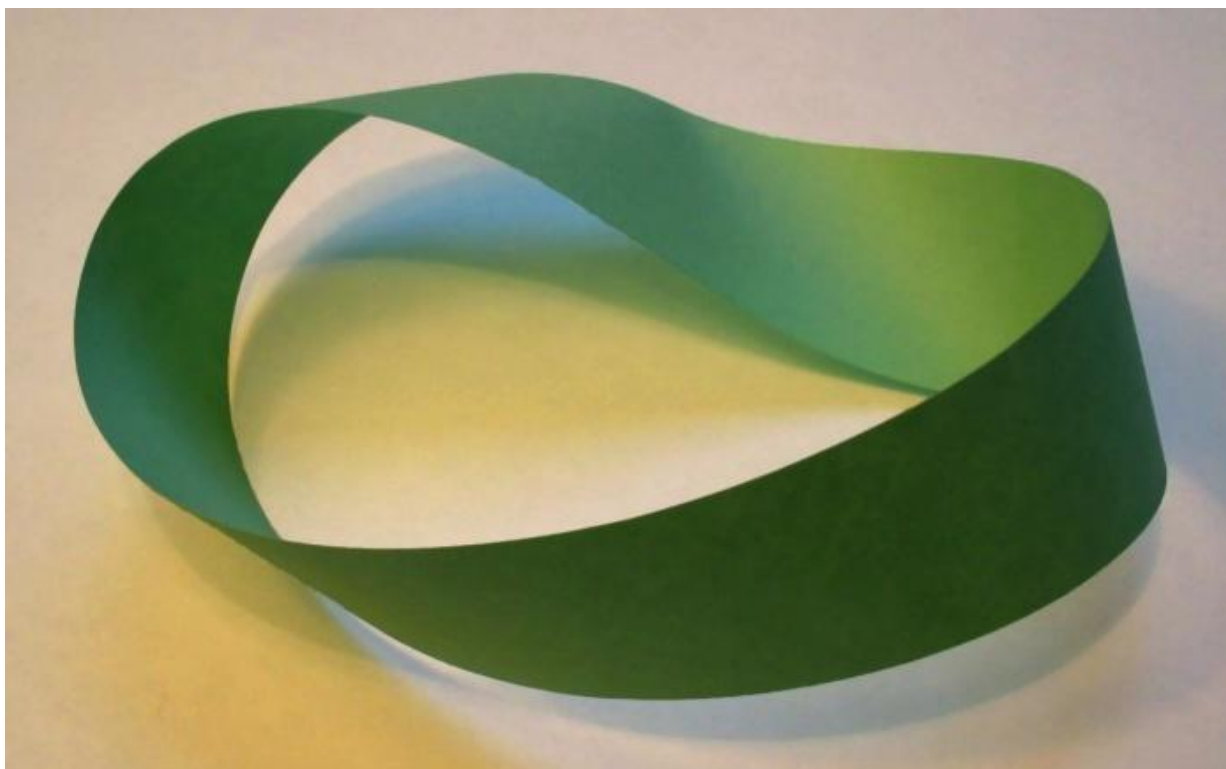
I došao do zaključka da topologija igra važnu ulogu u određivanju stanja lanca. **Ne može se zaključiti u kakvom je stanju lanac gledajući samo njegov malen dio.**

**Ne može se zaključiti u kakvom je stanju lanac gledajući samo njegov malen dio.**

?

**Ne može se zaključiti u kakvom je stanju lanac gledajući samo njegov malen dio.**

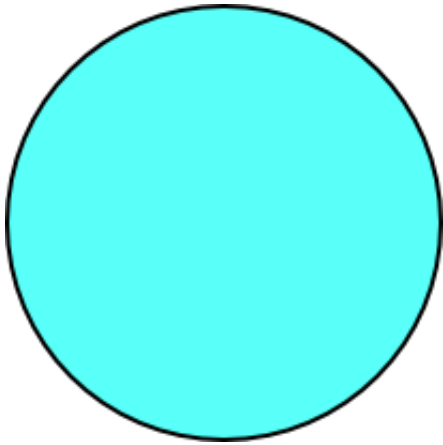
?



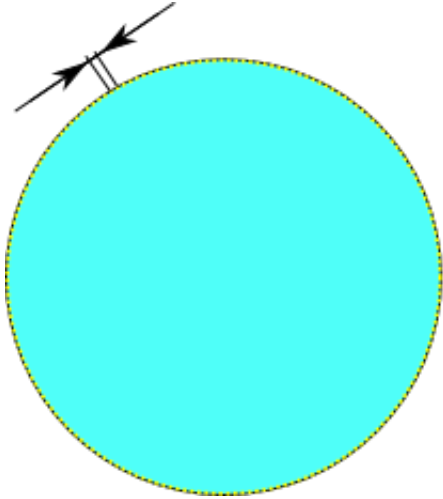
# TOPOLOGIJA I KVANTNA FIZIKA



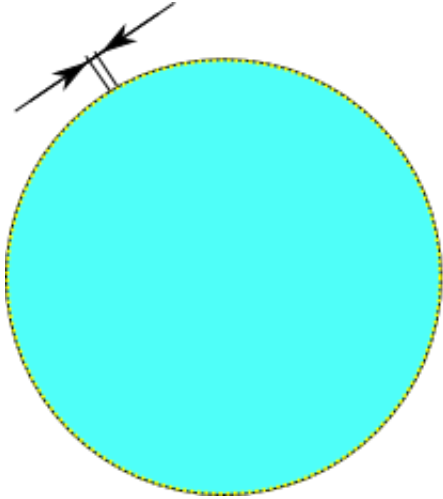
# TOPOLOGIJA I KVANTNA FIZIKA



# TOPOLOGIJA I KVANTNA FIZIKA

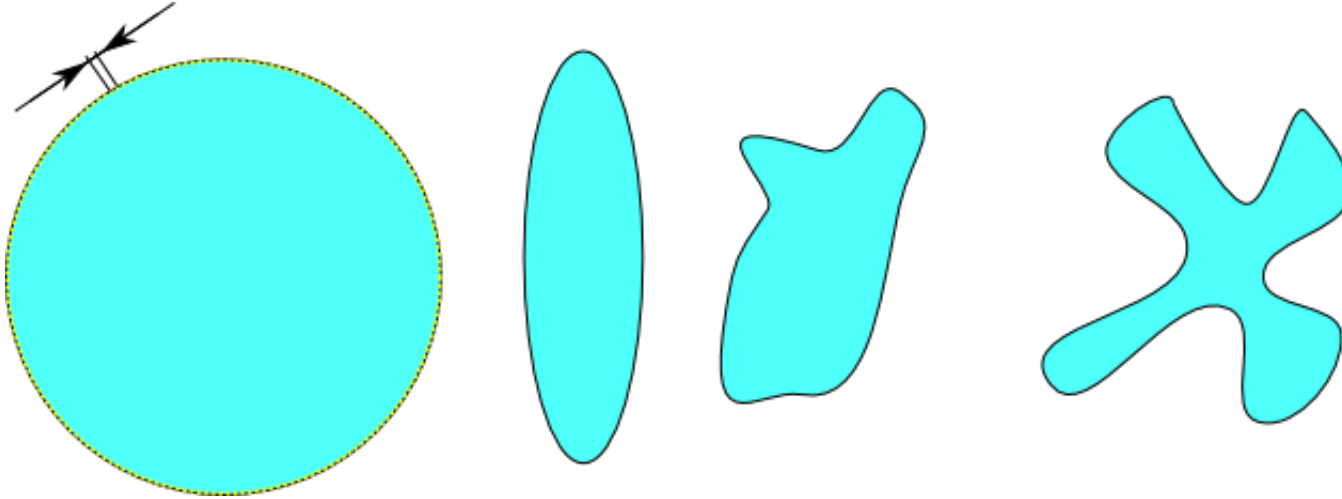


# TOPOLOGIJA I KVANTNA FIZIKA



$$\sum_{\text{po } \_ \text{krivulji}} \text{zakrivljen } \text{ost} = 2\pi$$

# TOPOLOGIJA I KVANTNA FIZIKA



$$\sum_{po \text{ -- } krivulji} \text{zakrivljen } ost = 2\pi$$

Gauss–Bonnet teorem

# TOPOLOGIJA I KVANTNA FIZIKA

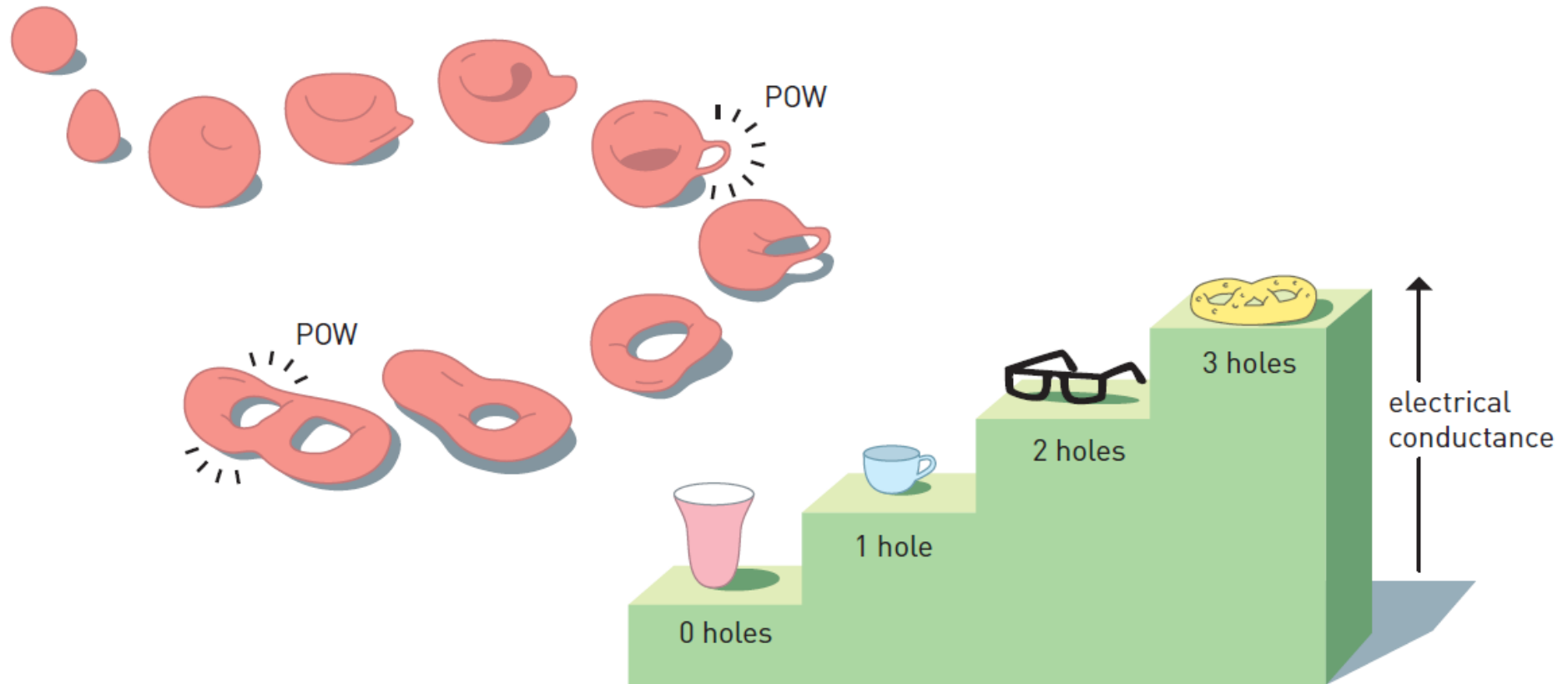
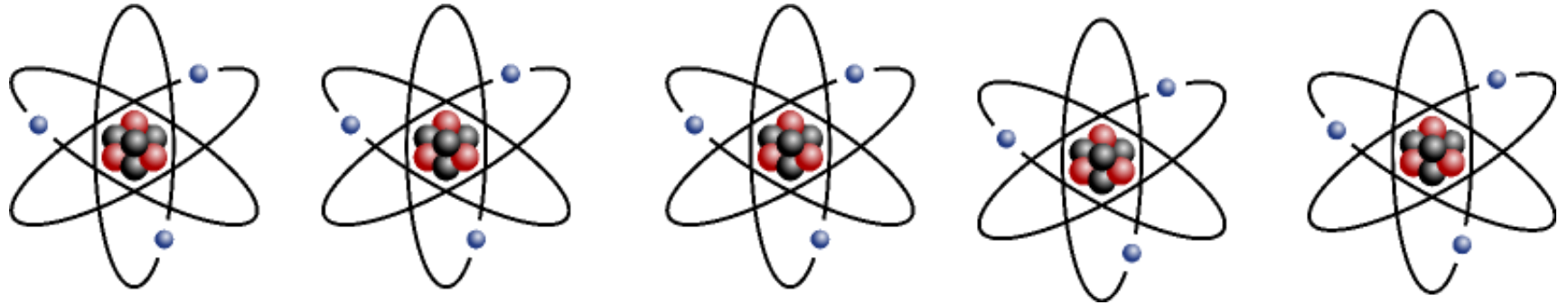


Illustration: ©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

# TOPOLOGIJA I KVANTNA FIZIKA

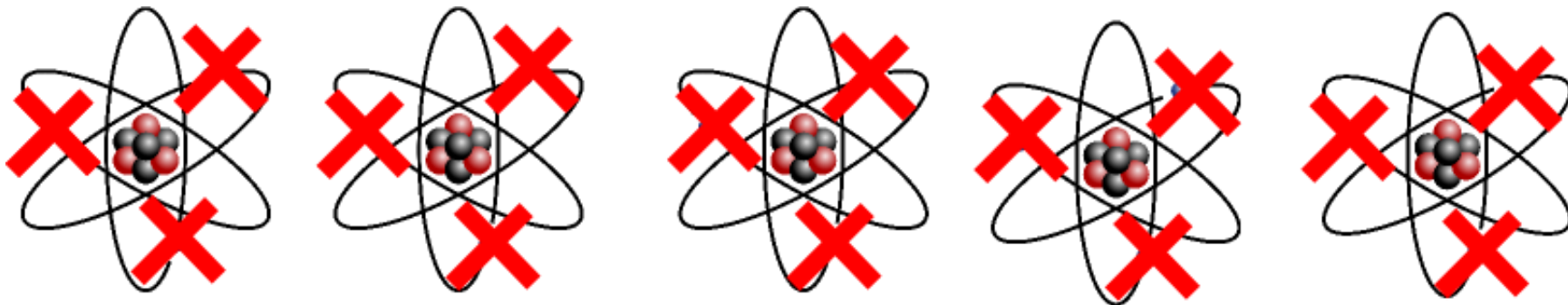


# TOPOLOGIJA I KVANTNA FIZIKA

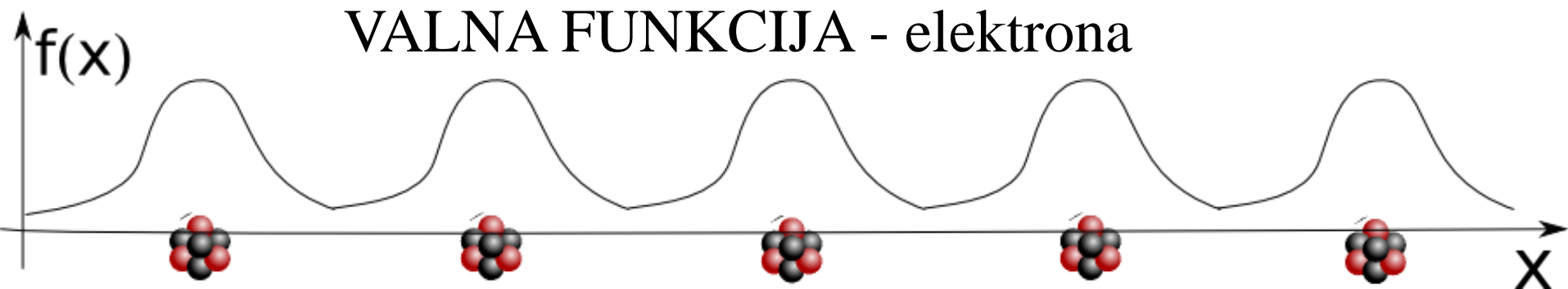


MORAMO NAPUSTITI ZORNU, ALI KRIVU SLIKU ELEKTRONA

# TOPOLOGIJA I KVANTNA FIZIKA



MORAMO NAPUSTITI ZORNU, ALI KRIVU SLIKU ELEKTRONA

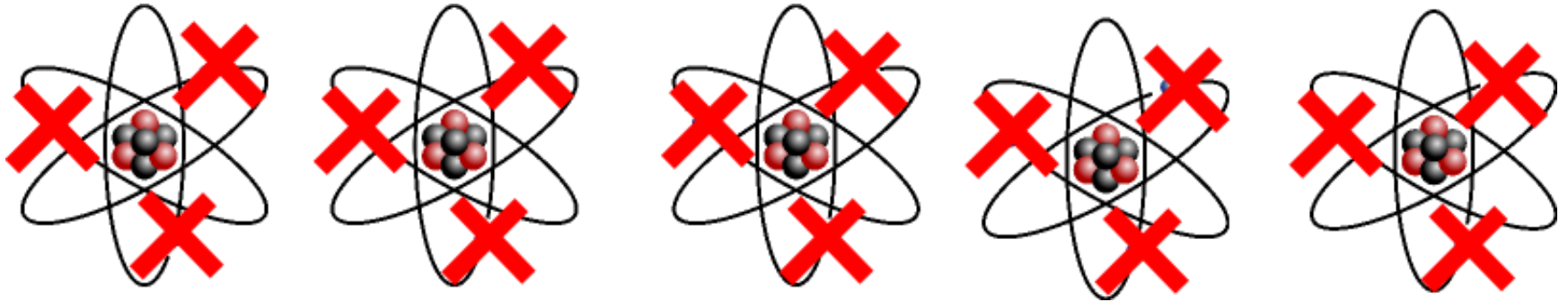


“Vjerojatnost nalaženja elektrona u nekoj točki”

$$\sum_{\text{po\_krivulji}} \text{"zakrivljenost"} = N$$

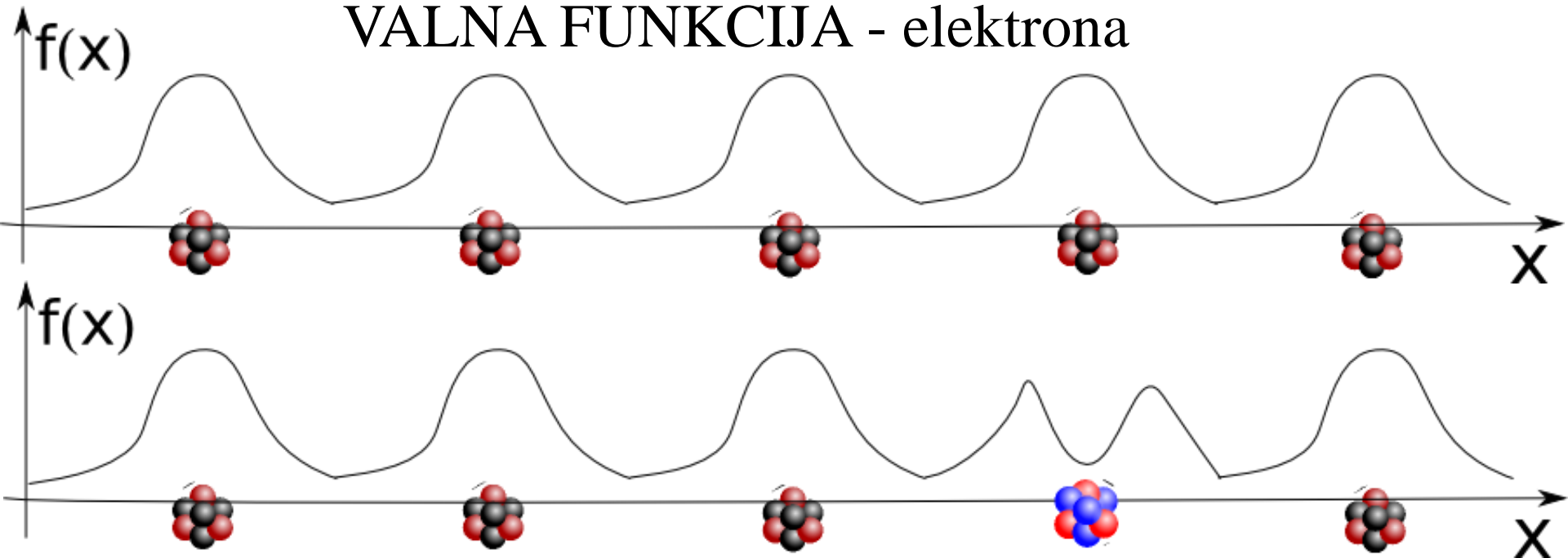


# TOPOLOGIJA I KVANTNA FIZIKA



MORAMO NAPUSTITI ZORNU, ALI KRIVU SLIKU ELEKTRONA

## VALNA FUNKCIJA - elektrona



# A PRAKTIČNA PRIMJENA?!



# A PRAKTIČNA PRIMJENA?!



Haldane: *It's very difficult to know whether something is **useful** or not, but one can know that it's **exciting**.*

*Quantum mechanics is so bizarre!*

# A PRAKTIČNA PRIMJENA?!



Haldane: *It's very difficult to know whether something is **useful** or not, but one can know that it's **exciting**.*

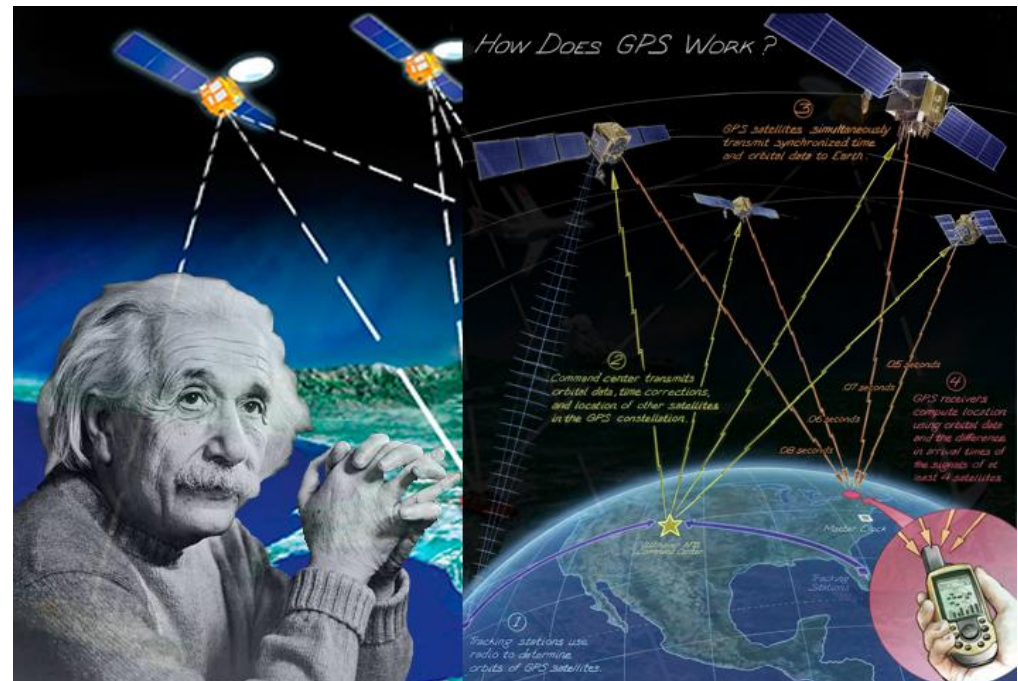
*Quantum mechanics is so bizarre!*

## Einstein

Otkriće: 1905. (spec. Teorija relativnosti)

Nobelova nagrada 1921.

(za drugo otkriće! - fotoefekt)



# A PRAKTIČNA PRIMJENA?!



Haldane: *It's very difficult to know whether something is **useful** or not, but one can know that it's **exciting**.*

*Quantum mechanics is so bizarre!*

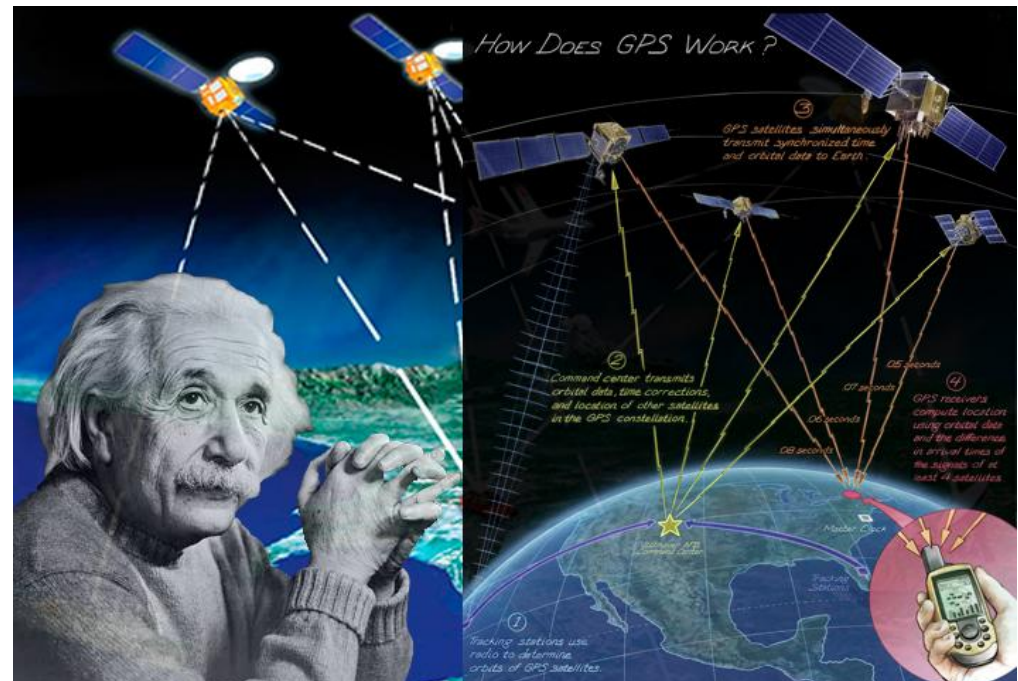
## Einstein

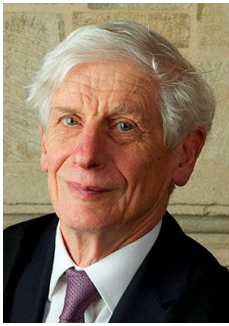
Otkriće: 1905. (spec. Teorija relativnosti)

Nobelova nagrada 1921.

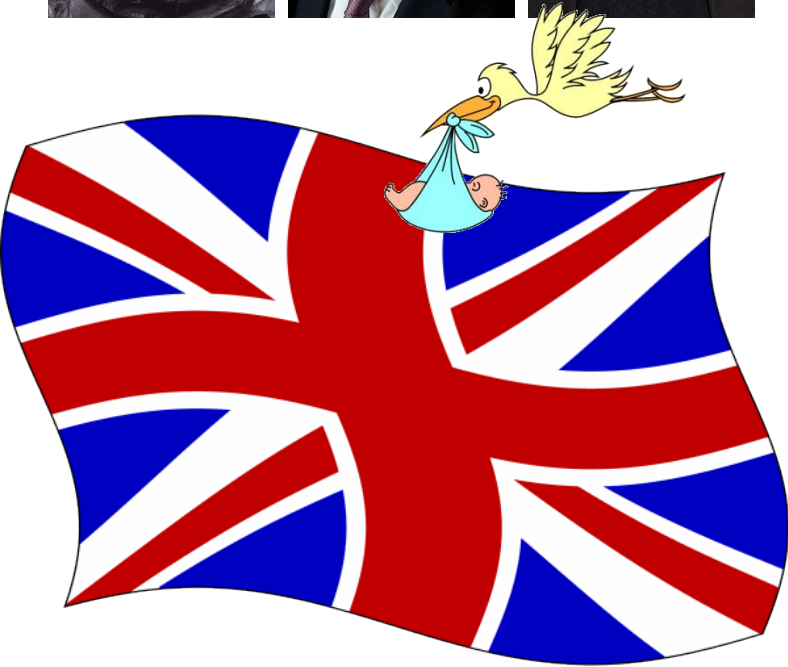
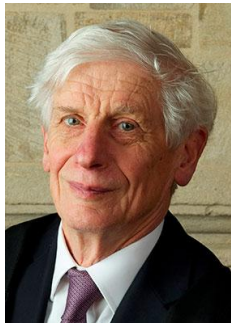
(za drugo otkriće! - fotoefekt)

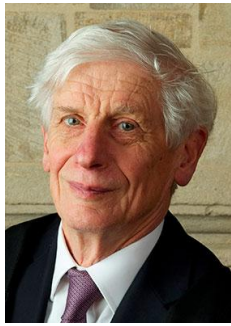
GPS – 1990/1991.



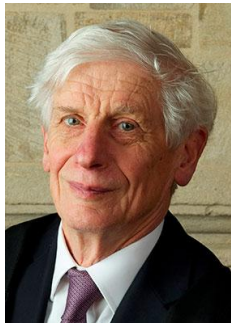




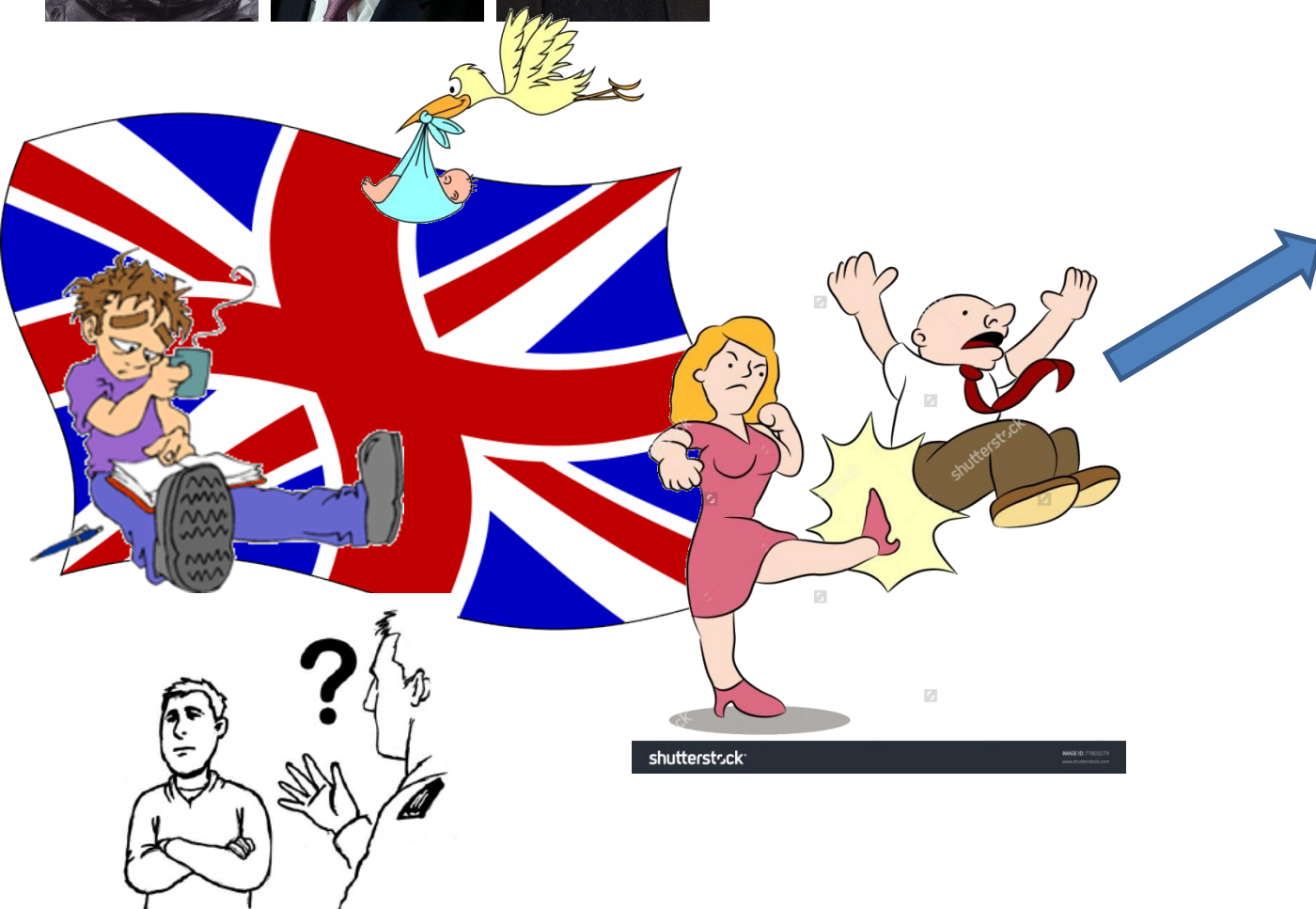




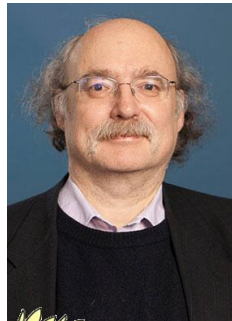




A za što je to korisno?!

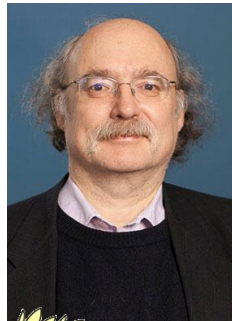


A za što je to korisno?!

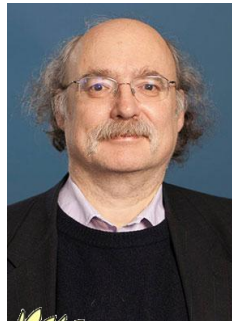


A za što je to korisno?!



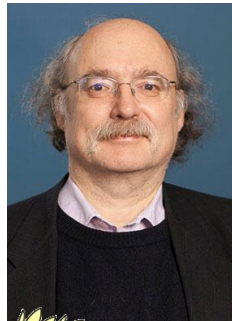


A za što je to korisno?!

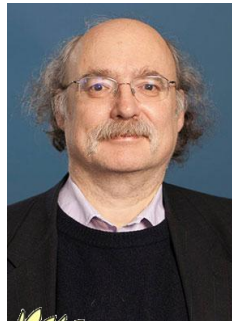


A za što je to korisno?!



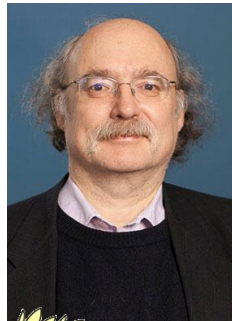


A za što je to korisno?!



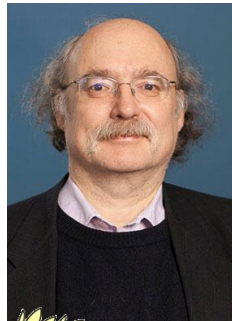
A za što je to korisno?!



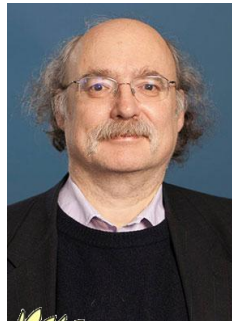


A za što je to korisno?!





A za što je to korisno?!



**Atif Mian** ✓  
@AtifRMian

Six Americans won the Nobel prize this year in various sciences. ALL of them immigrants.

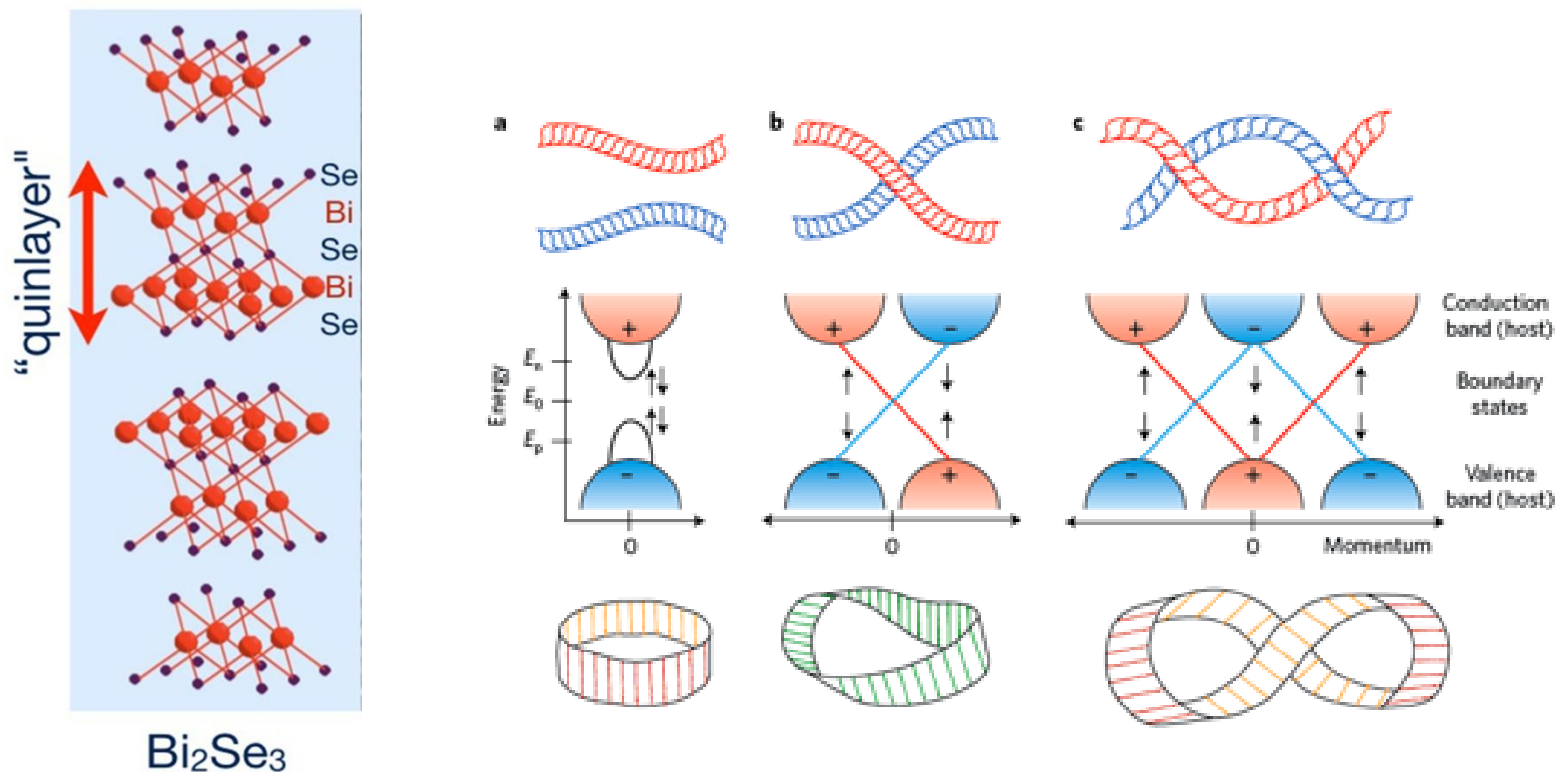
10/10/16, 6:34 AM

A za što je to korisno?!

Primjena otkrića postoji već danas – **kvantni Hall efekt** se koristi kao najtočniji mogući standard za mjerenje otpora.

U međuvremenu pokrenut je razvoj mnogih područja u fizici kondenzirane materije. Od kojih je možda najintenzivnije istraživane topoloških izolatora (TI).

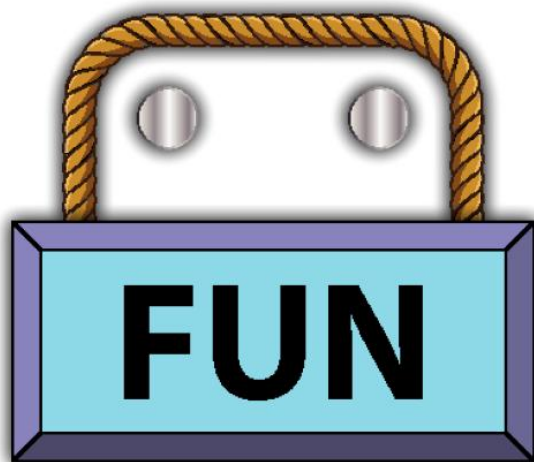
TI su materijali koji su izolatori u svom volumenu – ali na svojoj površini su vodljivi!



I jedan zadatak iz topologije, teorijska fizika vs. matematika

I jedan zadatak iz topologije, teorijska fizika vs. matematika

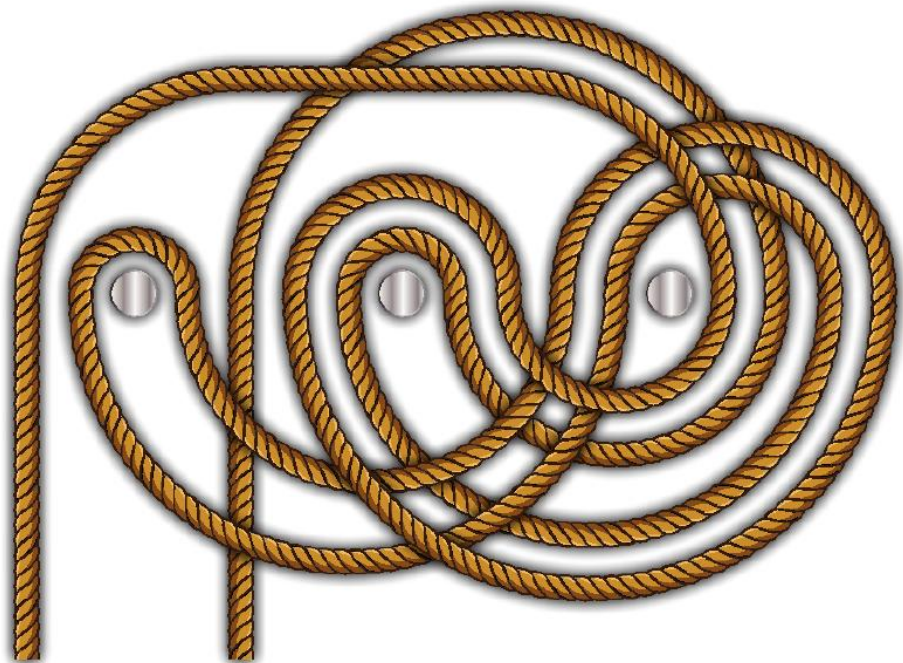
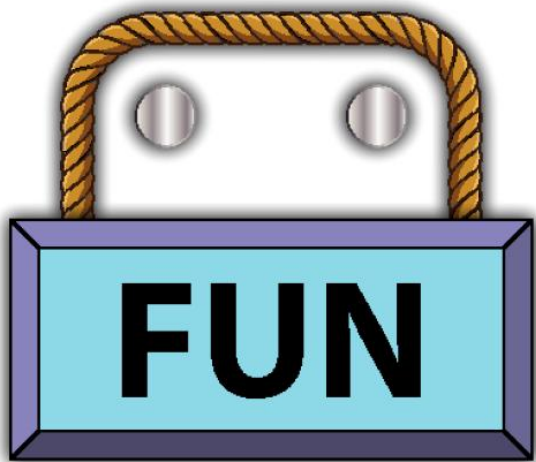
Potrebno je objesiti sliku na zid uz pomoć 2 čavla ali tako da izvlačenjem bilo kojeg od 2 čavla slika padne....





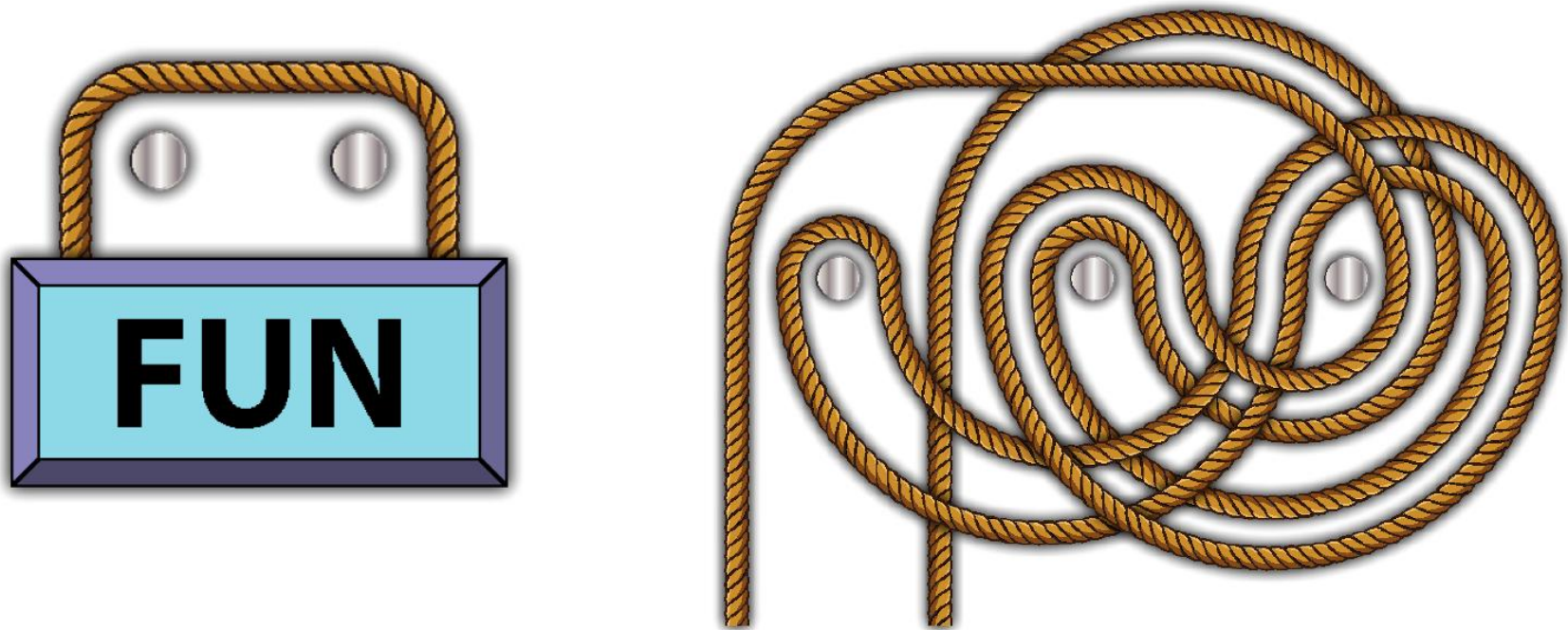
I jedan zadatak iz topologije, teorijska fizika vs. matematika

Potrebno je objesiti sliku na zid uz pomoć 2 čavla ali tako da izvlačenjem bilo kojeg od 2 čavla slika padne....



I jedan zadatak iz topologije, teorijska fizika vs. matematika

Potrebno je objesiti sliku na zid uz pomoć 2 čavla ali tako da izvlačenjem bilo kojeg od 2 čavla slika padne....



....prema doktoratu iz matematike.

HVALA NA PAŽNJI!

**PITANJA!**

plazicx@gmail.com





NE ŽELIMO ZAUVIJEK OSTATI NA NISKIM TEMPERATURAMA

